

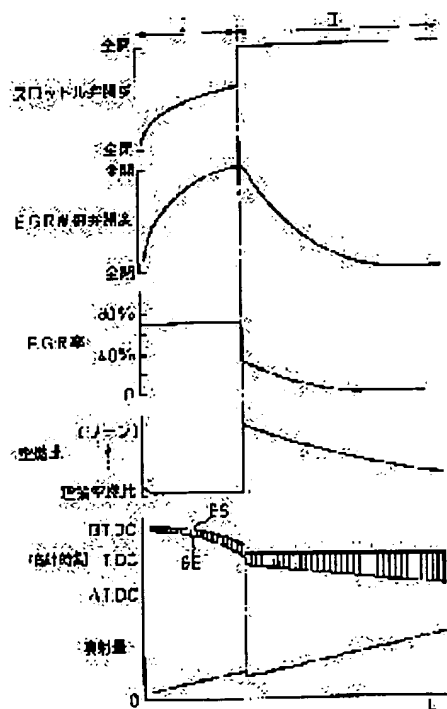
(11)Publication number : 11-107861  
(43)Date of publication of application : 20.04.1999

F02M 25/07  
F01N 3/08  
F01N 3/20  
F02D 21/08  
F02D 41/04  
F02D 41/04  
F02D 41/40

(72)Inventor : SASAKI SHIZUO  
IGUCHI SATORU  
ITOU TAKEKAZU  
ABE TSUKASA

Priority number : 09209503    Priority date : 04.08.1997    Priority country : JP

**SOLUTION:** First combustion wherein a recirculation exhaust gas amount fed in a combustion chamber is higher than a recirculation exhaust gas amount available when a generating amount of smooth is increased to a peak and second combustion wherein a recirculation exhaust gas amount fed in a combustion chamber is lower than a recirculation gas amount is lower than a recirculation gas amount available when a generating amount of sooth is increased to a peak are selectively switched. When first combustion is switched to second combustion or the second combustion is switched to the first combustion, an exhaust gas recirculation factor is changed in a step-form manner.



25.01.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3061019

[Date of registration] 28.04.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-107861

(43)公開日 平成11年(1999) 4月20日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
F 0 2 M 25/07  
F 0 1 N 3/08  
3/20  
F 0 2 D 21/08  
41/04

識別記号  
5 7 0  
3 0 1  
3 5 5

F I  
F 0 2 M 25/07  
F 0 1 N 3/08  
3/20  
F 0 2 D 21/08  
41/04

5 7 0 D  
A  
R  
3 0 1 D  
3 5 5

審査請求 未請求 請求項の数15 OL (全 15 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平9-305817  
(22)出願日 平成9年(1997)11月7日  
(31)優先権主張番号 特願平9-209503  
(32)優先日 平9(1997)8月4日  
(33)優先権主張国 日本 (J P)

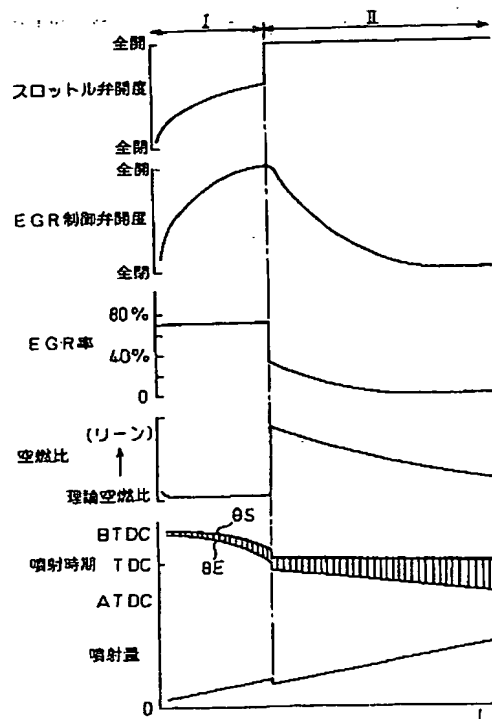
(71)出願人 000003207  
トヨタ自動車株式会社  
愛知県豊田市トヨタ町1番地  
(72)発明者 佐々木 静夫  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内  
(72)発明者 井口 哲  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内  
(72)発明者 伊藤 丈和  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内  
(74)代理人 弁理士 石田 敬 (外3名)  
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 内燃機関

(57)【要約】

【課題】 機関低負荷運転時における煤およびNO<sub>x</sub>の発生量を極めて低くする。

【解決手段】 煤の発生量がピークとなる再循環排気ガス量よりも燃焼室内に供給される再循環排気ガス量が多く煤がほとんど発生しない第1の燃焼と、煤の発生量がピークとなる再循環ガス量よりも燃焼室内に供給される再循環排気ガス量が少ない第2の燃焼とを選択的に切替える。第1の燃焼から第2の燃焼に又は第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられるときに排気ガス再循環率をステップ状に変化させる。



(2)

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 燃焼室内に供給される再循環排気ガス量を増大していくと煤の発生量が次第に増大してピークに達し、燃焼室内に供給される再循環排気ガス量を更に増大していくと燃焼室内における燃焼時の燃料およびその周囲のガス温が煤の生成温度よりも低くなって煤がほとんど発生しなくなる内燃機関において、煤の発生量がピークとなる再循環排気ガス量よりも燃焼室内に供給される再循環排気ガス量が多く煤がほとんど発生しない第1の燃焼と、煤の発生量がピークとなる再循環ガス量よりも燃焼室内に供給される再循環排気ガス量が少ない第2の燃焼とを選択的に切替える切替手段を具備し、第1の燃焼から第2の燃焼に又は第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられるときに排気ガス再循環率をステップ状に変化させるようにした内燃機関。

【請求項2】 第1の燃焼から第2の燃焼に切換えられるときには排気ガス再循環率がステップ状に低下せしめられ、第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられるときには排気ガス再循環率がステップ状に上昇せしめられる請求項1に記載の内燃機関。

【請求項3】 第1の燃焼が行われているときの排気ガス再循環率がほぼ55パーセント以上であり、第2の燃焼が行われているときの排気ガス再循環率がほぼ50パーセント以下である請求項1に記載の内燃機関。

【請求項4】 第1の燃焼から第2の燃焼に又は第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられるときに空燃比がステップ状に変化せしめられる請求項1に記載の内燃機関。

【請求項5】 第1の燃焼から第2の燃焼に切換えられるときには空燃比がステップ状に大きくされ、第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられるときには空燃比がステップ状に小さくされる請求項4に記載の内燃機関。

【請求項6】 第1の燃焼における空燃比が理論空燃比か、或いは理論空燃比に対してわずかにリーンなリーン空燃比か、或いはリッチ空燃比とされ、第2の燃焼における空燃比がリーン空燃比とされる請求項4に記載の内燃機関。

【請求項7】 第1の燃焼から第2の燃焼に又は第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられるときに排気ガス再循環量又は吸入空気量の少なくとも一方をステップ状に変化させることによって排気ガス再循環率をステップ状に変化させるようにした請求項1に記載の内燃機関。

【請求項8】 機関の運転領域を第1の燃焼が行われる低負荷側の第1の運転領域と第2の燃焼が行われる高負荷側の第2の運転領域に分割した請求項1に記載の内燃機関。

【請求項9】 第1の運転領域と第2の運転領域の境界が第1の境界と第1の境界よりも低負荷側の第2の境界からなり、第1の燃焼から第2の燃焼への切換えは第1の境界に基づいて行われ、第2の燃焼から第1の燃焼への切換えは第2の境界に基づいて行われる請求項8に記

2

載の内燃機関。

【請求項10】 機関の運転状態が第2の運転領域にありかつ第1の境界と第2の境界との間に一定時間以上継続して留まっているときには第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられる請求項9に記載の内燃機関。

【請求項11】 第2の運転領域のうちで低負荷側の運転領域では吸気行程と圧縮行程の二回に分けて燃料噴射が行われる請求項8に記載の内燃機関。

【請求項12】 第1の燃焼が行われているときの燃料およびその周囲のガス温度は排気ガス中の $\text{NO}_x$ 量が10 p.p.m.前後又はそれ以下となる温度である請求項1に記載の内燃機関。

【請求項13】 機関排気通路内に酸化機能を有する触媒を配置した請求項1に記載の内燃機関。

【請求項14】 該触媒が酸化触媒、三元触媒又は $\text{NO}_x$ 吸収剤の少くとも一つからなる請求項13に記載の内燃機関。

【請求項15】 第1の燃焼が行われているときには未燃炭化水素が煤の形ではなく煤の前駆体又はそれ以前の形でもって燃焼室から排出され、燃焼室から排出された未燃炭化水素が上記触媒によって酸化される請求項13の内燃機関。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は内燃機関に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より内燃機関、例えばディーゼル機関においては $\text{NO}_x$ の発生を抑制するために機関排気通路と機関吸気通路とを排気ガス再循環（以下、EGRと称す）通路により連結し、このEGR通路を介して排気ガス、即ちEGRガスを機関吸気通路内に再循環させるようにしている。この場合、EGRガスは比較的比熱が高く、従って多量の熱を吸収することができるので、EGRガス量を増大するほど、即ちEGR率（EGRガス量／（EGRガス量＋吸入空気量））を増大するほど燃焼室内における燃焼温度が低下する。燃焼温度が低下すると $\text{NO}_x$ の発生量が低下し、従ってEGR率を増大すればするほど $\text{NO}_x$ の発生量は低下することになる。

【0003】このように従来よりEGR率を増大すれば $\text{NO}_x$ の発生量を低下しうことはわかっている。しかしながらEGR率を増大させていくとEGR率が或る限度を越えたときに煤の発生量、即ちスモークが急激に増大し始める。この点に関し従来より、それ以上EGR率を増大すればスモークが限りなく増大していくものと考えられており、従ってスモークが急激に増大し始めるEGR率がEGR率の最大許容限界であると考えられている。

【0004】従って従来よりEGR率はこの最大許容限界を越えない範囲内に定められている（例えば特開平4-334750号公報参照）。このEGR率の最大許容

(3)

3

限界は機関の形式や燃料によってかなり異なるがおよそ30パーセントから50パーセントである。従って従来のディーゼル機関ではEGR率は最大でも30パーセントから50パーセント程度に抑えられている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このように従来ではEGR率に対して最大許容限界が存在すると考えられていたので従来よりEGR率はこの最大許容限界を越えない範囲内においてNO<sub>x</sub> およびスモークの発生量ができるだけ少なくなるように定められていた。しかしながらこのようにしてEGR率をNO<sub>x</sub> およびスモークの発生量  
10 ができるだけ少なくなるように定めてもNO<sub>x</sub> およびスモークの発生量の低下には限度があり、実際には依然としてかなりの量のNO<sub>x</sub> およびスモークが発生してしまうのが現状である。

【0006】ところが本発明者はディーゼル機関の燃焼の研究の過程においてEGR率を最大許容限界よりも大きくすれば上述の如くスモークが急激に増大するがこのスモークの発生量にはピークが存在し、このピークを越えてEGR率を更に大きくすると今度はスモークが急激  
20 に減少しはじめ、アイドリング運転時においてEGR率を70パーセント以上にすると、またEGRガスを強力に冷却した場合にはEGR率をほぼ55パーセント以上にするとスモークがほとんど零になる、即ち煤がほとんど発生しないことを見出したのである。また、このときにはNO<sub>x</sub> の発生量が極めて少量となることも判明している。この後この知見に基づいて煤が発生しない理由について検討を進め、その結果これまでにない煤およびNO<sub>x</sub> の同時低減が可能な新たな燃焼システムを構築するに至ったのである。この新たな燃焼システムについて  
30 は後に詳細に説明するが簡単に云うと炭化水素が煤に成長するまでの途中の段階において炭化水素の成長を停止させることを基本としている。

【0007】即ち、実験研究を重ねた結果判明したことは燃焼室内における燃焼時の燃料およびその周囲のガス温度が或る温度以下のときには炭化水素の成長が煤に至る前の途中の段階で停止し、燃料およびその周囲のガス温度が或る温度以上になると炭化水素は一気に煤まで成長してしまうということである。この場合、燃料およびその周囲のガス温度は燃料が燃焼した際の燃料周りのガスの吸熱作用が大きく影響しており、燃料燃焼時の発熱量に応じて燃料周りのガスの吸熱量を調整することによって燃料およびその周囲のガス温度を制御することができる。

【0008】従って、燃焼室内における燃焼時の燃料およびその周囲のガス温度を炭化水素の成長が途中で停止する温度以下に抑制すれば煤が発生なくなり、燃焼室内における燃焼時の燃料およびその周囲のガス温度を炭化水素の成長が途中で停止する温度以下に抑制することは燃料周りのガスの吸熱量を調整することによって可能  
50

4

となる。一方、煤に至る前に成長が途中で停止した炭化水素は酸化触媒等を用いた後処理によって容易に浄化することができる。これが新たな燃焼システムの基本的な考え方である。

【0009】ところでこの新たな燃焼システムのもとで煤およびNO<sub>x</sub> を同時に低減するためにはEGR率を少くともほぼ55パーセント以上にすることが必要がある。しかしながらEGR率をほぼ55パーセント以上にすることが可能なのは吸入空気量が少ないとき、即ち機関負荷が比較的低いときであり、吸入空気量が一定限度を越えるとEGR率を低下させない限り吸入空気量を増大させることができなくなる。ところがこの場合、吸入空気量が  
10 増大するにつれてEGR率を55パーセントから徐々に低下させると多量のスモークが発生するという問題が生じる。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために1番目の発明では、燃焼室内に供給される再循環排気ガス量を増大していくと煤の発生量が次第に増大してピークに達し、燃焼室内に供給される再循環排気ガス量を更に増大していくと燃焼室内における燃焼時の燃料およびその周囲のガス温が煤の生成温度よりも低くなって煤がほとんど発生しなくなる内燃機関において、煤の発生量がピークとなる再循環排気ガス量よりも燃焼室内に供給される再循環排気ガス量が多く煤がほとんど発生しない第1の燃焼と、煤の発生量がピークとなる再循環ガス量よりも燃焼室内に供給される再循環排気ガス量が少ない第2の燃焼とを選択的に切替える切替手段を具備し、第1の燃焼から第2の燃焼に又は第2の燃焼から第1の燃焼に切替えられるときに排気ガス再循環率をステップ状に変化させるようにしている。  
20

【0011】2番目の発明では1番目の発明において、第1の燃焼から第2の燃焼に切替えられるときには排気ガス再循環率がステップ状に低下せしめられ、第2の燃焼から第1の燃焼に切替えられるときには排気ガス再循環率がステップ状に上昇せしめられる。3番目の発明では1番目の発明において、第1の燃焼が行われているときの排気ガス再循環率がほぼ55パーセント以上であり、第2の燃焼が行われているときの排気ガス再循環率がほぼ50パーセント以下である。  
40

【0012】4番目の発明では1番目の発明において、第1の燃焼から第2の燃焼に又は第2の燃焼から第1の燃焼に切替えられるときに空燃比がステップ状に変化せしめられる。5番目の発明では4番目の発明において、第1の燃焼から第2の燃焼に切替えられるときには空燃比がステップ状に大きくされ、第2の燃焼から第1の燃焼に切替えられるときには空燃比がステップ状に小さくされる。

【0013】6番目の発明では4番目の発明において、第1の燃焼における空燃比が理論空燃比か、或いは理論  
50

(4)

5

空燃比に対してわずかにリーンなリーン空燃比か、或いはリッチ空燃比とされ、第2の燃焼における空燃比がリーン空燃比とされる。7番目の発明では1番目の発明において、第1の燃焼から第2の燃焼に又は第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられるときに排気ガス再循環量又は吸入空気量の少なくとも一方をステップ状に変化させることによって排気ガス再循環率をステップ状に変化させる。

【0014】8番目の発明では1番目の発明において、機関の運転領域を第1の燃焼が行われる低負荷側の第1の運転領域と第2の燃焼が行われる高負荷側の第2の運転領域に分割している。9番目の発明では8番目の発明において、第1の運転領域と第2の運転領域の境界が第1の境界と第1の境界よりも低負荷側の第2の境界からなり、第1の燃焼から第2の燃焼への切換えは第1の境界に基づいて行われ、第2の燃焼から第1の燃焼への切換えは第2の境界に基づいて行われる。

【0015】10番目の発明では9番目の発明において、機関の運転状態が第2の運転領域にありかつ第1の境界と第2の境界との間に一定時間以上継続して留まっているときには第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられる。11番目の発明では8番目の発明において、第2の運転領域のうちで低負荷側の運転領域では吸気行程と圧縮行程の二回に分けて燃料噴射が行われる。

【0016】12番目の発明では1番目の発明において、第1の燃焼が行われているときの燃料およびその周囲のガス温度は排気ガス中の $\text{NO}_x$ 量が10p.p.m.前後又はそれ以下となる温度である。13番目の発明では1番目の発明において、機関排気通路内に酸化機能を有する触媒を配置している。

【0017】14番目の発明では13番目の発明において、触媒が酸化触媒、三元触媒又は $\text{NO}_x$ 吸収剤の少なくとも一つからなる。15番目の発明では13番目の発明において、第1の燃焼が行われているときには未燃炭化水素が煤の形ではなく煤の前駆体又はそれ以前の形でもって燃焼室から排出され、燃焼室から排出された未燃炭化水素が触媒によって酸化される。

【0018】

【発明の実施の形態】図1は本発明を4ストローク圧縮着火式内燃機関に適用した場合を示している。図1を参照すると、1は機関本体、2はシリンダブロック、3はシリンダヘッド、4はピストン、5は燃焼室、6は電気制御式燃料噴射弁、7は吸気弁、8は吸気ポート、9は排気弁、10は排気ポートを夫々示す。吸気ポート8は対応する吸気枝管11を介してサージタンク12に連結され、サージタンク12は吸気ダクト13を介してエアクリーナ14に連結される。吸気ダクト13内には電気モータ15により駆動されるスロットル弁16が配置される。一方、排気ポート10は排気マニホールド17および排気管18を介して酸化機能を有する触媒19を内蔵

6

した触媒コンバータ20に連結され、排気マニホールド17内には空燃比センサ21が配置される。

【0019】排気マニホールド17とサージタンク12とはEGR通路22を介して互いに連結され、EGR通路22内には電気制御式EGR制御弁23が配置される。また、EGR通路22周りにはEGR通路22内を流れるEGRガスを冷却するための冷却装置24が配置される。図1に示される実施例では機関冷却水が冷却装置24内に導びかれ、機関冷却水によってEGRガスが冷却される。

【0020】一方、各燃料噴射弁6は燃料供給管25を介して燃料リザーバ、いわゆるコモンレール26に連結される。このコモンレール26内へは電気制御式の吐出量可変な燃料ポンプ27から燃料が供給され、コモンレール26内に供給された燃料は各燃料供給管25を介して燃料噴射弁6に供給される。コモンレール26にはコモンレール26内の燃料圧を検出するための燃料圧センサ28が取付けられ、燃料圧センサ28の出力信号に基づいてコモンレール26内の燃料圧が目標燃料圧となるように燃料ポンプ27の吐出量が制御される。

【0021】電子制御ユニット30はデジタルコンピュータからなり、双方向性バス31によって互いに接続されたROM（リードオンリメモリ）32、RAM（ランダムアクセスメモリ）33、CPU（マイクロプロセッサ）34、入力ポート35および出力ポート36を具備する。空燃比センサ21の出力信号は対応するAD変換器37を介して入力ポート35に入力される。また、燃料圧センサ28の出力信号も対応するAD変換器37を介して入力ポート35に入力される。アクセルペダル40にはアクセルペダル40の踏み込み量Lに比例した出力電圧を発生する負荷センサ41が接続され、負荷センサ41の出力電圧は対応するAD変換器37を介して入力ポート35に入力される。更に入力ポート35にはクランクシャフトが例えば30°回転する毎に出力パルスを発生するクランク角センサ42が接続される。一方、出力ポート36は対応する駆動回路38を介して燃料噴射弁6、電気モータ15、EGR制御弁23および燃料ポンプ27に接続される。

【0022】図2は機関低負荷運転時においてスロットル弁16の開度およびEGR率を変化させることにより空燃比 $A/F$ （図2の横軸）を変化させたときの出力トルクの変化、およびスモーク、HC、CO、 $\text{NO}_x$ の排出量の変化を示す実験例を表している。図2からわかるようにこの実験例では空燃比 $A/F$ が小さくなるほどEGR率が大きくなり、理論空燃比（ $\approx 14.6$ ）以下のときにはEGR率は65パーセント以上となっている。

【0023】図2に示されるようにEGR率を増大することにより空燃比 $A/F$ を小さくしていくとEGR率が40パーセント付近となり空燃比 $A/F$ が30程度になったときにスモークの発生量が増大を開始する。次の

(5)

7

で、更にEGR率を高め、空燃比A/Fを小さくするとスモークの発生量が急激に増大してピークに達する。次いで更にEGR率を高め、空燃比A/Fを小さくすると今度はスモークが急激に低下し、EGR率を65パーセント以上とし、空燃比A/Fが15.0付近になるとスモークがほぼ零となる。即ち、煤がほとんど発生しなくなる。このとき機関の出力トルクは若干低下し、また $\text{NO}_x$ の発生量がかなり低くなる。一方、このときHC、COの発生量は増大し始める。

【0024】図3(A)は空燃比A/Fが18付近でスモークの発生量が最も多いときの燃焼室5内の燃焼圧変化を示しており、図3(B)は空燃比A/Fが13付近でスモークの発生量がほぼ零のときの燃焼室5内の燃焼圧の変化を示している。図3(A)と図3(B)とを比較すればわかるようにスモークの発生量がほぼ零である図3(B)に示す場合はスモークの発生量が多い図3

(A)に示す場合に比べて燃焼圧が低いことがわかる。

【0025】図2および図3に示される実験結果から次のことが言える。即ち、まず第1に空燃比A/Fが15.0以下でスモークの発生量がほぼ零のときには図2に示されるように $\text{NO}_x$ の発生量がかなり低下する。 $\text{NO}_x$ の発生量が低下したということは燃焼室5内の燃焼温度が低下していることを意味しており、従って煤がほとんど発生しないときには燃焼室5内の燃焼温度が低くなっていると言える。同じことが図3からも言える。即ち、煤がほとんど発生していない図3(B)に示す状態では燃焼圧が低くなっており、従ってこのとき燃焼室5内の燃焼温度は低くなっていることになる。

【0026】第2にスモークの発生量、即ち煤の発生量がほぼ零になると図2に示されるようにHCおよびCOの排出量が増大する。このことは炭化水素が煤まで成長せずに排出されることを意味している。即ち、燃料中に含まれる図4に示されるような直鎖状炭化水素や芳香族炭化水素は酸素不足の状態では温度上昇せしめられると熱分解して煤の前駆体が形成され、次いで主に炭素原子が集合した固体からなる煤が生成される。この場合、実際の煤の生成過程は複雑であり、煤の前駆体がどのような形態をとるかは明確ではないがいずれにしても図4に示されるような炭化水素は煤の前駆体を経て煤まで成長することになる。従って、上述したように煤の発生量がほぼ零になると図2に示される如くHCおよびCOの排出量が増大するがこのときのHCは煤の前駆体又はその前の状態の炭化水素である。

【0027】図2および図3に示される実験結果に基づくこれらの考察をまとめると燃焼室5内の燃焼温度が低いときには煤の発生量がほぼ零になり、このとき煤の前駆体又はその前の状態の炭化水素が燃焼室5から排出されることになる。このことについて更に詳細に実験研究を重ねた結果、燃焼室5内における燃料およびその周囲のガス温度が或る温度以下である場合には煤の成長過程

8

が途中で停止してしまい、即ち煤が全く発生せず、燃焼室5内における燃料およびその周囲の温度が或る温度以上になると煤が生成されることが判明したのである。

【0028】ところで煤の前駆体の状態で炭化水素の生成過程が停止するときの燃料およびその周囲の温度、即ち上述の或る温度は燃料の種類や空燃比や圧縮比等の種々の要因によって変化するので何度であるかということはいえないがこの或る温度は $\text{NO}_x$ の発生量と深い関係を有しており、従ってこの或る温度は $\text{NO}_x$ の発生量から或る程度規定することができる。即ち、EGR率が増大するほど燃焼時の燃料およびその周囲のガス温度は低下し、 $\text{NO}_x$ の発生量が低下する。このとき $\text{NO}_x$ の発生量が10p.p.m 前後又はそれ以下になったときに煤がほとんど発生しなくなる。従って上述の或る温度は $\text{NO}_x$ の発生量が10p.p.m 前後又はそれ以下になったときの温度にほぼ一致する。

【0029】一旦、煤が生成されるとこの煤は酸化触媒等を用いた後処理でもって浄化することはできない。これに対して煤の前駆体又はその前の状態の炭化水素は酸化触媒等を用いた後処理でもって容易に浄化することができる。このように酸化触媒等による後処理を考えると炭化水素を煤の前駆体又はその前の状態で燃焼室5から排出させるか、或いは煤の形で燃焼室5から排出させるかについては極めて大きな差がある。本発明において用いている新たな燃焼システムは燃焼室5内において煤を生成させることなく炭化水素を煤の前駆体又はその前の状態の形で燃焼室5から排出させ、この炭化水素を酸化触媒等により酸化せしめることを核としている。

【0030】さて、煤が生成される前の状態で炭化水素の成長を停止させるには燃焼室5内における燃焼時の燃料およびその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度に抑制する必要がある。この場合、燃料およびその周囲のガス温度を抑制するには燃料が燃焼した際の燃料周りのガスの吸熱作用が極めて大きく影響することが判明している。

【0031】即ち、燃料周りに空気しか存在しないと蒸発した燃料はただちに空気中の酸素と反応して燃焼する。この場合、燃料から離れている空気の温度はさほど上昇せず、燃料周りの温度のみが局所的に極めて高くなる。即ち、このときには燃料から離れている空気は燃料の燃焼熱の吸熱作用をほとんど行わない。この場合には燃焼温度が局所的に極めて高くなるために、この燃焼熱を受けた未炭化水素は煤を生成することになる。

【0032】一方、多量の不活性ガスと少量の空気の混合ガス中に燃料が存在する場合には若干状況異なる。この場合には蒸発燃料は周囲に拡散して不活性ガス中に混在する酸素と反応し、燃焼することになる。この場合には燃焼熱は周りの不活性ガスに吸収されるために燃焼温度はさほど上昇しなくなる。即ち、燃焼温度を低く抑えることができることになる。即ち、燃焼温度を抑制す

(6)

9

るには不活性ガスの存在が重要な役割を果しており、不活性ガスの吸熱作用によって燃焼温度を低く抑えることができることになる。

【0033】この場合、燃料およびその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度に抑制するにはそうするのに十分な熱量を吸収しうだけの不活性ガス量が必要となる。従って燃料量が増大すれば必要となる不活性ガス量はそれに伴って増大することになる。なお、この場合、不活性ガスの比熱が大きいほど吸熱作用は強力となり、従って不活性ガスは比熱の大きなガスが好ましいことになる。この点、 $\text{CO}_2$  やEGRガスは比較的比熱が大きいので不活性ガスとしてEGRガスを用いることは好ましいと言える。

【0034】図5は不活性ガスとしてEGRガスを用い、EGRガスの冷却度合を変えたときのEGR率とスモークとの関係を示している。即ち、図5において曲線AはEGRガスを強力に冷却してEGRガス温をほぼ90℃に維持した場合を示しており、曲線Bは小型の冷却装置でEGRガスを冷却した場合を示しており、曲線CはEGRガスを強制的に冷却していない場合を示している。

【0035】図5の曲線Aで示されるようにEGRガスを強力に冷却した場合にはEGR率が50パーセントよりも少し低いところで煤の発生量がピークとなり、この場合にはEGR率をほぼ55パーセント以上にすれば煤がほとんど発生しなくなる。一方、図5の曲線Bで示されるようにEGRガスを少し冷却した場合にはEGR率が50パーセントよりも少し高いところで煤の発生量がピークとなり、この場合にはEGR率をほぼ65パーセント以上にすれば煤がほとんど発生しなくなる。

【0036】また、図5の曲線Cで示されるようにEGRガスを強制的に冷却していない場合にはEGR率が55パーセントの付近で煤の発生量がピークとなり、この場合にはEGR率をほぼ70パーセント以上にすれば煤がほとんど発生しなくなる。なお、図5は機関負荷が比較的高いときのスモークの発生量を示しており、機関負荷が小さくなると煤の発生量がピークとなるEGR率は若干低下し、煤がほとんど発生しなくなるEGR率の下限も若干低下する。このように煤がほとんど発生しなくなるEGR率の下限はEGRガスの冷却度合や機関負荷に応じて変化する。

【0037】図6は不活性ガスとしてEGRガスを用いた場合において燃焼時の燃料およびその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度にするために必要なEGRガスと空気の混合ガス量、およびこの混合ガス中の空気の割合、およびこの混合ガス中のEGRガスの割合を示している。なお、図6において縦軸は燃焼室5内に吸入される全吸入ガス量を示しており、鎖線Yは過給が行われな

10

り、Z1は低負荷運転領域を示している。

【0038】図6を参照すると空気の割合、即ち混合ガス中の空気量は噴射された燃料を完全に燃焼せしめるのに必要な空気量を示している。即ち、図6に示される場合では空気量と噴射燃料量との比は理論空燃比となっている。一方、図6においてEGRガスの割合、即ち混合ガス中のEGRガス量は噴射燃料が燃焼せしめられたときに燃料およびその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度にするのに必要最低限のEGRガス量を示している。このEGRガス量はEGR率で表すとほぼ55パーセント以上、図6に示される実施例では70パーセント以上である。即ち、燃焼室5内に吸入された全吸入ガス量を図6において実線Xとし、この全吸入ガス量Xのうちの空気量とEGRガス量との割合を図6に示すような割合にすると燃料およびその周囲のガス温度は煤が生成される温度よりも低い温度となり、斯くして煤が全く発生しなくなる。また、このときの $\text{NO}_x$  発生量は10p.p.m 前後、又はそれ以下であり、従って $\text{NO}_x$  の発生量は極めて少量となる。

【0039】燃料噴射量が増大すれば燃料が燃焼した際の発熱量が増大するので燃料およびその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度に維持するためにはEGRガスによる熱の吸収量を増大しなければならない。従って図6に示されるようにEGRガス量は噴射燃料量が増大するにつれて増大せしめなければならない。即ち、EGRガス量は要求負荷が高くなるにつれて増大する必要がある。

【0040】一方、図6の負荷領域Z2では煤の発生を阻止するのに必要な全吸入ガス量Xが吸入しうる全吸入ガス量Yを越えてしまう。従ってこの場合、煤の発生を阻止するのに必要な全吸入ガス量Xを燃焼室5内に供給するにはEGRガスおよび吸入空気の双方、或いはEGRガスを過給又は加圧する必要がある。EGRガス等を過給又は加圧しない場合には負荷領域Z2では全吸入空気量Xは吸入しうる全吸入空気量Yに一致する。従ってこの場合、煤の発生を阻止するためには空気量を若干減少させてEGRガス量を増大すると共に空燃比がリッチのもとで燃料を燃焼せしめることになる。

【0041】前述したように図6は燃料を理論空燃比のもとで燃焼させる場合を示しているが図6に示される低負荷運転領域Z1において空気量を図6に示される空気量よりも少なくとも、即ち空燃比をリッチにしても煤の発生を阻止しつつ $\text{NO}_x$  の発生量を10p.p.m 前後又はそれ以下にすることができ、また図6に示される低負荷領域Z1において空気量を図6に示される空気量よりも多くしても、即ち空燃比の平均値を17から18のリー

ンにしても煤の発生を阻止しつつ $\text{NO}_x$  の発生量を10p.p.m 前後又はそれ以下にすることができる。

【0042】即ち、空燃比がリッチにされると燃料が過剰となるが燃焼温度が低い温度に抑制されているために



(7)

11

過剰な燃料は煤まで成長せず、斯くして煤が生成されることがない。また、このとき $\text{NO}_x$ も極めて少量しか発生しない。一方、平均空燃比がリーンるとき、或いは空燃比が理論空燃比のときでも燃焼温度が高くなれば少量の煤が生成されるが本発明では燃焼温度が低い温度に抑制されているので煤は全く生成されない。更に、 $\text{NO}_x$ も極めて少量しか発生しない。

【0043】このように機関低負荷運転領域Z1では空燃比にかかわらず、即ち空燃比がリッチであろうと、理論空燃比であろうと、或いは平均空燃比がリーンであろうと煤が生成されず、 $\text{NO}_x$ の発生量が極めて少量となる。従って燃料消費率の向上を考えるとこのとき平均空燃比をリーンにすることが好ましいと言える。ところで本発明において用いられている新たな燃焼システムのもとで煤および $\text{NO}_x$ を同時に低減するためにはEGR率を少くともほぼ55パーセント以上にする必要がある。しかしながらEGR率をほぼ55パーセント以上にすることが可能なのは吸入空気量が少ないとき、即ち機関負荷が比較的低いときであり、吸入空気量が一定限度を越えると即ち、要求負荷が一定限度よりも高くなるとEGR率を低下させない限り吸入空気量を増大させることができなくなる。ところがこの場合図2に示される実験例では、吸入空気量が増大するにつれて即ち、要求負荷が高くなるにつれてEGR率をほぼ65パーセントから徐々に低下させると、即ち要求負荷が高くなるにつれて徐々に空燃比を大きくしていくと多量のスモークが発生することになる。従って要求負荷が一定限度を越えたときに要求負荷が高くなるにつれてEGR率をほぼ65パーセントから徐々に低下させ、空燃比を徐々に大きくすることはできない。

【0044】この場合、多量のスモークが発生するのを阻止するためには要求負荷が一定限度を越えたときに多量のスモークが発生するほぼ40パーセントからほぼ65パーセントのEGR率範囲を飛び越す必要がある。そこで本発明では要求負荷が低いときにはEGR率を少くともほぼ55パーセント以上に維持し、要求負荷が高くなってEGR率をほぼ55パーセント以上に維持できなくなったときにはEGR率をステップ状にほぼ50パーセント以下まで低下させるようにしている。このとき同時に空燃比もステップ状に大きくなる。

【0045】EGR率がほぼ55パーセント以上のときには前述したように燃料およびその周囲のガス温度は煤が生成される温度よりも低い温度となっており、このとき第1の燃焼、即ち低温燃焼が行われている。これに対してEGR率がほぼ50パーセント以下まで低下せしめられたときには燃料およびその周囲のガス温度は煤が生成される温度よりも高くなり、このときにはもはや第1の燃焼、即ち低温燃焼を行うことはできない。本発明による実施例でこのように低温燃焼を行うことができないときには第2の燃焼、即ち従来より普通に行われている

12

燃焼が行われる。なお、ここで第1の燃焼、即ち低温燃焼とはこれまでの説明から明らかなように煤の発生量がピークとなる不活性ガス量よりも燃焼室内の不活性ガス量が多く煤がほとんど発生しない燃焼のことを云い、第2の燃焼、即ち従来より普通に行われている燃焼とは煤の発生量がピークとなる不活性ガス量よりも燃焼室内の不活性ガス量が少ない燃焼のことを云う。

【0046】図7はEGR率がほぼ55パーセント以上とされる第1の燃焼、即ち低温燃焼が行われる第1の運転領域Iと、EGR率がほぼ50パーセント以下とされる第2の燃焼、即ち従来の燃焼方法による燃焼が行われる第2の燃焼領域IIとを示している。なお、図7において縦軸Lはアクセルペダル40の踏み込み量、即ち要求負荷を示しており、横軸Nは機関回転数を示している。また、図7においてX(N)は第1の運転領域Iと第2の運転領域IIとの第1の境界を示しており、Y(N)は第1の運転領域Iと第2の運転領域IIとの第2の境界を示している。第1の運転領域Iから第2の運転領域IIへの運転領域の変化判断は第1の境界X(N)に基づいて行われ、第2の運転領域IIから第1の運転領域Iへの運転領域の変化判断は第2の境界Y(N)に基づいて行われる。

【0047】即ち、機関の運転状態が第1の運転領域Iにあって第1の燃焼、即ち低温燃焼が行われているときに要求負荷Lが機関回転数Nの関数である第1の境界X(N)を越えると運転領域が第2の運転領域IIに移ったと判断され、第2の燃焼に切換えられる。次いで要求負荷Lが機関回転数Nの関数である第2の境界Y(N)よりも低くなると運転領域が第1の運転領域Iに移ったと判断され、第2の燃焼から第1の燃焼に切換えられる。

【0048】このように第1の境界X(N)と第1の境界Y(N)よりも低負荷側の第2の境界Y(N)との二つの境界を設けたのは次に二つの理由による。第1の理由は、第2の運転領域IIの高負荷側では比較的燃焼温度が高く、このとき要求負荷Lが第1の境界X(N)より低くなったとしてもただちに低温燃焼を行えないからである。即ち、要求負荷Lがかなり低くなったとき、即ち第2の境界Y(N)よりも低くなったときでなければただちに低温燃焼が開始されないからである。第2の理由は第1の運転領域Iと第2の運転領域II間の運転領域の変化に対してヒステリシスを設けるためである。ところで機関の運転状態が第1の運転領域Iにあって低温燃焼が行われているときには煤はほとんど発生せず、その代り未燃炭化水素が煤の前駆体又はその前の状態の形で燃焼室5から排出される。このとき燃焼室5から排出された未燃炭化水素は酸化機能を有する触媒19により良好に酸化せしめられる。

【0049】触媒19としては酸化触媒、三元触媒、又は $\text{NO}_x$ 吸収剤を用いることができる。 $\text{NO}_x$ 吸収剤は燃焼室5内における平均空燃比がリーンのときに $\text{NO}_x$

(8)

13

を吸収し、燃焼室5内における平均空燃比がリッチになると $\text{NO}_x$ を放出する機能を有する。この $\text{NO}_x$ 吸収剤は例えばアルミナを担体とし、この担体上に例えばカリウムK、ナトリウムNa、リチウムLi、セシウムCsのようなアルカリ金属、バリウムBa、カルシウムCaのようなカルカリ土類、ランタンLa、イットリウムYのような希土類から選ばれた少くとも一つと、白金Ptのような貴金属とが担持されている。

【0050】酸化触媒はもとより、三元触媒および $\text{NO}_x$ 吸収剤も酸化機能を有しており、従って上述した如く三元触媒および $\text{NO}_x$ 吸収剤を触媒19として用いることができる。図8は空燃比センサ21の出力を示している。図8に示されるように空燃比センサ21の出力電流Iは空燃比A/Fに応じて変化する。従って空燃比センサ21の出力電流Iから空燃比を知ることができる。

【0051】次に図9を参照しつつ第1の運転領域Iおよび第2の運転領域IIにおける運転制御の具体的な一例について説明する。図9は要求負荷Lに対するスロットル弁16の開度、EGR制御弁23の開度、EGR率、空燃比、噴射時期および噴射量を示している。図9に示されるように要求負荷Lの低い第1の運転領域Iではスロットル弁16の開度は要求負荷Lが高くなるにつれて全閉近くから半開程度まで徐々に増大せしめられ、EGR制御弁23の開度は要求負荷Lが高くなるにつれて全閉近くから全開まで徐々に増大せしめられる。また、図9に示される具体例では第1の運転領域IではEGR率がほぼ70パーセントとされており、空燃比は1.5から1.8程度のリーン空燃比とされている。

【0052】言い換えると第1の運転領域IではEGR率がほぼ70パーセントとなり、空燃比が1.5から1.8程度のリーン空燃比となるようにスロットル弁16の開度およびEGR制御弁23の開度が制御される。なお、このとき空燃比は空燃比センサ21の出力信号に基づいてスロットル弁16の開度、EGR制御弁23の開度又は燃料噴射量を補正することによって目標リーン空燃比に制御される。また、第1の運転領域Iでは圧縮上死点TDC前に燃料噴射が行われる。この場合、噴射開始時期 $\theta_S$ は要求負荷Lが高くなるにつれて遅くなり、噴射完了時期 $\theta_E$ も噴射開始時期 $\theta_S$ が遅くなるにつれて遅くなる。

【0053】前述したようにアイドリング運転時にはスロットル弁16は全閉近くまで閉弁され、このときEGR制御弁23も全閉近くまで閉弁せしめられる。スロットル弁16を全閉近くまで閉弁すると圧縮始めの燃焼室5内の圧力が低くなるために圧縮圧力が小さくなる。圧縮圧力が小さくなるとピストン4による圧縮仕事は小さくなるために機関本体1の振動が小さくなる。即ち、アイドリング運転時には機関本体1の振動を抑制するためにスロットル弁16が全閉近くまで閉弁せしめられる。

【0054】機関の運転状態が第1の運転領域Iである

14

ときには煤および $\text{NO}_x$ はほとんど発生せず、排気ガス中に含まれる煤の前駆体又はその前の状態の炭化水素は触媒19により酸化せしめられる。一方、機関の運転領域が第1の運転領域Iから第2の運転領域IIに変わるとスロットル弁16の開度が半開状態から全開状態へステップ状に増大せしめられる。このとき図8に示す例ではEGR率がほぼ70パーセントから40パーセント以下までステップ状に減少せしめられ、空燃比がステップ状に大きくされる。即ち、EGR率が多量のスモークを発生するEGR率範囲を飛び越えるので機関の運転領域が第1の運転領域Iから第2の運転領域IIに変わるときに多量のスモークが発生することがなくなる。

【0055】第2の運転領域IIでは第2の燃焼、即ち従来から行われている燃焼が行われる。この燃焼方法では煤および $\text{NO}_x$ が若干発生するが低温燃焼に比べて熱効率は高く、従って機関の運転領域が第1の運転領域Iから第2の運転領域IIに変わると図9に示されるように噴射量がステップ状に低減せしめられる。第2の運転領域IIではスロットル弁16は全開状態に保持され、EGR制御弁23の開度は要求負荷Lが高くなるほど小さくされる。従ってEGR率は要求負荷Lが高くなるほど低くなり、空燃比は要求負荷Lが高くなるほど大きくなる。ただし、空燃比は要求負荷Lが高くなってもリーン空燃比とされる。また、第2の運転領域IIでは噴射開始時期 $\theta_S$ は圧縮上死点TDC付近とされる。

【0056】次に図10を参照しつつ運転制御について説明する。図10を参照するとまず初めにステップ100において機関の運転領域が第1の運転領域Iであることを示すフラグIがセットされているか否かが判別される。フラグIがセットされているとき、即ち機関の運転領域が第1の運転領域Iであるときにはステップ101に進んで要求負荷Lが図7に示す第1の境界X(N)よりも大きくなったか否かが判別される。

【0057】 $L \leq X(N)$ のときにはステップ102に進んでスロットル弁16の開度が図9の第1の運転領域Iに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ103ではEGR制御弁23の開度が図9の第1の運転領域Iに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ104では図9の第1の運転領域Iに示される要求負荷L等に応じた噴射量、噴射開始時期 $\theta_S$ および噴射完了時期 $\theta_E$ が求められ、これらに基づいて燃料噴射が行われる。

【0058】一方、ステップ101において $L > X(N)$ になったと判断されるとステップ105に進んでフラグIがリセットされる。次いでステップ107に進んでスロットル弁16の開度が図9の第2の運転領域IIに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。即ち、スロットル弁16が全開せしめられる。次いでステップ108ではEGR制御弁23の開度が図9の第2の運転領域IIに示される要求負荷Lに応じた開度に制御さ

(9)

15

れる。次いでステップ109では図9の第2の運転領域IIに示される要求負荷L等に応じた噴射量、噴射開始時期 $\theta$ Sおよび噴射完了時期 $\theta$ Eが求められ、これらに基づいて燃料噴射が行われる。

【0059】一方、ステップ100においてフラグIがリセットされていると判断されたとき、即ち機関の運転領域が第2の運転領域IIであるときにはステップ106に進んで要求負荷Lが図7に示す第2の境界Y(N)よりも小さくなったか否かが判別される。 $L \geq Y(N)$ のときにはステップ107に進む。これに対して $L < Y(N)$ になるとステップ110に進んでフラグIがセットされ、次いでステップ102に進む。

【0060】ところで前述したように第2の運転領域IIの高負荷側では燃焼温度は比較的高く、従って要求負荷Lが第1の境界X(N)より低くなったとしても第2の境界Y(N)よりも高ければただちに低温燃焼を行うことができない。しかしながら機関の運転状態が一定時間以上継続して第1の境界X(N)と第2の境界Y(N)との間にあれば燃焼室5の温度も低くなり、斯くして低温燃焼を行うことができるようになる。そこで本発明による第2の実施例では機関の運転状態が第2の運転領域IIにありかつ一定時間以上継続して第1の境界X(N)と第2の境界Y(N)との間にあった場合には運転領域が第2の運転領域IIから第1の運転領域Iに変化したとみなし、低温燃焼を開始させるようにしている。図11はこの第2の実施例を実行するためのフローチャートを示している。

【0061】図11を参照するとまず初めにステップ200において機関の運転領域が第1の運転領域Iであることを示すフラグIがセットされているか否かが判別される。フラグIがセットされているとき、即ち機関の運転領域が第1の運転領域Iであるときにはステップ201に進んで要求負荷Lが図7に示す第1の境界X(N)よりも大きくなったか否かが判別される。

【0062】 $L \leq X(N)$ のときにはステップ202に進んでスロットル弁16の開度が図9の第1の運転領域Iに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ203ではEGR制御弁23の開度が図9の第1の運転領域Iに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ204では図9の第1の運転領域Iに示される要求負荷L等に応じた噴射量、噴射開始時期 $\theta$ Sおよび噴射完了時期 $\theta$ Eが求められ、これらに基づいて燃料噴射が行われる。

【0063】一方、ステップ201において $L > X(N)$ になったと判断されるとステップ205に進んでフラグIがリセットされる。次いでステップ210に進んでスロットル弁16の開度が図9の第2の運転領域IIに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。即ち、スロットル弁16が全開せしめられる。次いでステップ211ではEGR制御弁23の開度が図9の第2の

16

運転領域IIに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ212では図9の第2の運転領域IIに示される要求負荷L等に応じた噴射量、噴射開始時期 $\theta$ Sおよび噴射完了時期 $\theta$ Eが求められ、これらに基づいて燃料噴射が行われる。

【0064】一方、ステップ200においてフラグIがリセットされていると判断されたとき、即ち機関の運転領域が第2の運転領域IIであるときにはステップ206に進んで要求負荷Lが図7に示す第2の境界Y(N)よりも小さくなったか否かが判別される。 $L \geq Y(N)$ のときにはステップ207に進んで要求負荷Lが第1の境界X(N)よりも低いかが否かが、即ち要求負荷Lが第1の境界X(N)と第2の境界Y(N)との間にあるか否かが判別される。

【0065】 $L > X(N)$ のときにはステップ210に進む。これに対して $L \leq X(N)$ のとき、即ち $Y(N) \leq L \leq X(N)$ のときにはステップ208に進んで一定時間が経過したか否かが判別される。一定時間経過していないときにはステップ210に進む。これに対して一定時間経過したとき、即ち $Y(N) \leq L \leq X(N)$ である状態が一定時間以上継続したときにはステップ209に進んでフラグIがセットされる。次いでステップ202に進み、低温燃焼が開始される。

【0066】一方、ステップ206において $L < Y(N)$ になったと判断されたときにはステップ213に進んでフラグIがセットされる。次いでステップ202に進み、低温燃焼が行われる。図12に第3実施例を示す。この実施例では運転領域が第1の運転領域Iから第2の運転領域IIに変化したときにスロットル弁16の開度およびEGR制御弁23の開度の双方をステップ状に変化させることによってEGR率をほぼ65パーセントから40パーセント以下に低下させるようにしている。即ち、この実施例では運転領域が第1の運転領域Iから第2の運転領域IIに変化したときにスロットル弁16の開度がステップ状に増大せしめられ、EGR制御弁23の開度がステップ状に減少せしめられる。なお、この実施例では第2の運転領域IIのうちで負荷の低い領域では要求負荷Lが高くなるにつれてスロットル弁16の開度が徐々に増大せしめられる。

【0067】図13から図17に第4実施例を示す。この実施例では図7に示される第2の運転領域IIの低負荷側領域では吸気行程の初期に少量の燃料を噴射し、大部分の燃料を圧縮上死点TDC付近で噴射するビゴム(VIGOM)噴射が行われる。図13において破線は圧縮行程末期に燃料噴射を行ったときのスモークの発生量を示しており、実線はビゴム噴射を行ったときのスモークの発生量を示している。図13に示されるようにビゴム噴射を行った場合にはスモークの発生量が少なくなると共にスモークの発生する空燃比範囲が狭くなる。スモークの発生する空燃比範囲が狭いとスモークの発生する空

(10)

17

燃比範囲を飛び越えるのに必要なEGR率の変化量が少なくすみ、従ってスモークの発生する空燃比範囲を飛び越えるためのスロットル弁16の開度制御或いはEGR制御弁23の開度制御が容易になるという利点がある。

【0068】図14は第4実施例における運転領域の区分けを示している。図14において低温燃焼が行われる第1の運転領域I、第1の境界X(N)および第2の境界Y(N)は図7に示される第1の運転領域I、第1の境界X(N)および第2の境界Y(N)と同じである。これに対して図7に示される第2の運転領域IIは、第4実施例においては低負荷側の運転領域IIと高負荷側の運転領域IIIとに分割され、低負荷側運転領域IIではピゴム噴射が行われ、高負荷側運転領域IIIでは従来より行われている通常の噴射が行われる。

【0069】なお、図14に示されるようにこの実施例では低負荷側運転領域IIと高負荷側運転領域IIIとの間にも二つの境界、即ち第3の境界V(N)と第4の境界W(N)とが設けられている。この場合、低負荷側運転領域IIから高負荷側運転領域IIIへの運転領域の変化判断は第3の境界V(N)に基づいて行われ、高負荷側運転領域IIIから低負荷側運転領域IIへの運転領域の変化判断は第4の境界W(N)に基づいて行われる。

【0070】図15は要求負荷Lに対するスロットル弁16の開度、EGR制御弁23の開度、EGR率、空燃比および噴射時期を示している。図15に示されるように低温燃焼が行われる第1の運転領域Iではスロットル弁16の開度は要求負荷Lが高くなるにつれて全閉近くから半開程度まで徐々に増大せしめられ、EGR制御弁23の開度は要求負荷Lが高くなるにつれて全閉近くから全開まで徐々に増大せしめられる。また、図15に示される実施例では第1の運転領域IではEGR率がほぼ80パーセントとされており、空燃比はわずかにリーンなリーン空燃比とされている。

【0071】一方、運転領域が低温燃焼が行われる第1の運転領域Iから低負荷側運転領域IIに変化するとスロットル弁16の開度が半開状態から全開状態へステップ状に増大せしめられる。このとき図15に示す例ではEGR率がほぼ80パーセントから40パーセント以下までステップ状に減少せしめられ、空燃比がステップ状に大きくされる。即ち、EGR率が多量のスモークを発生するEGR率範囲を飛び越えるので機関の運転領域が第1の運転領域Iから低負荷側運転領域IIに変わるときに多量のスモークが発生することがなくなる。

【0072】低負荷側運転領域IIにおいてはピゴム噴射が行われる。この低負荷側運転領域IIではスロットル弁16が全開状態に保持され、EGR制御弁23の開度はほぼ一定開度に保持される。従ってこの低負荷側運転領域IIではEGR率がほぼ一定に維持され、空燃比がほぼ一定に維持される。また、吸気行程の初期に少量の燃料

18

噴射が行われ、大部分の燃料噴射は圧縮上死点TDC付近で行われる。

【0073】運転領域がピゴム噴射が行われる低負荷側運転領域IIから従来より行われている通常の噴射が行われる高負荷側運転領域IIIに変化するときにはスロットル弁16の開度およびEGR制御弁23の開度は急激に変化せず、従ってEGR率および空燃比も急激に変化しない。この高負荷側運転領域IIIではスロットル弁16は全開状態に保持され、EGR制御弁23の開度は要求負荷Lが高くなるほど小さくされる。従ってEGR率は要求負荷Lが高くなるほど低くなり、空燃比は要求負荷Lが高くなるほど大きくなる。

【0074】次に図16および図17を参照しつつ運転制御について説明する。図16および図17を参照するとまず初めにステップ300において機関の運転領域が第1の運転領域Iであることを示すフラグIがセットされているかが判別される。フラグIがセットされているとき、即ち機関の運転領域が第1の運転領域Iであるときにはステップ301に進んで要求負荷が図14に示す第1の境界X(N)よりも大きくなったかが判別される。

【0075】 $L \leq X(N)$ のときにはステップ302に進んでスロットル弁16の開度が図15の第1の運転領域Iに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ303ではEGR制御弁23の開度が図15の第1の運転領域Iに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ304では図15の第1の運転領域Iに示される要求負荷L等に応じた噴射開始時期 $\theta_S$ および噴射完了時期 $\theta_E$ が求められ、これらに基づいて燃料噴射が行われる。

【0076】一方、ステップ301において $L > X(N)$ になったと判断されるとステップ305に進んでフラグIがリセットされ、次いでステップ306に進んで運転領域が低負荷側運転領域IIであることを示すフラグIIがセットされる。次いでステップ307に進んでスロットル弁16の開度が図15の低負荷側運転領域IIに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。即ち、スロットル弁16が全開せしめられる。次いでステップ308ではEGR制御弁23の開度が図15の低負荷側運転領域IIに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ309では図15の低負荷側運転領域IIに示される要求負荷L等に応じた噴射開始時期 $\theta_S$ および噴射完了時期 $\theta_E$ が求められ、これらに基づいて燃料噴射が行われる。

【0077】一方、ステップ300においてフラグIがリセットされていると判断されたときにはステップ310に進んでフラグIIがセットされているかが判別される。フラグIIがセットされているとき、即ち運転領域が低負荷側運転領域IIであるときにはステップ311に進んで要求負荷Lが図14に示す第3の境界V(N)よ

(11)

19

りも大きくなったか否かが判別される。 $L \leq V(N)$  のときにはステップ312に進んで要求負荷 $L$ が第2の境界 $Y(N)$ よりも低くなったか否かが判別される。 $L \geq Y(N)$  のときにはステップ307に進んでピゴム噴射が行われる。

【0078】これに対して $L < Y(N)$  のときにはステップ313に進んでフラグIIがリセットされ、次いでステップ314に進んでフラグIがセットされる。次いでステップ302に進む。従ってこのときにはピゴム噴射から低温燃焼に切換えられる。一方、ステップ311において $L > V(N)$  であると判別されたときにはステップ315に進んでフラグIIがリセットされる。次いでステップ316に進んでスロットル弁16の開度が図15の高負荷側運転領域IIIに示される要求負荷 $L$ に応じた開度に制御される。即ち、スロットル弁16は全開状態に保持される。次いでステップ317ではEGR制御弁23の開度が図15の高負荷側運転領域IIIに示される要求負荷 $L$ に応じた開度に制御される。次いでステップ318では図15の高負荷側運転領域IIIに示される要求負荷 $L$ 等に応じた噴射開始時期 $\theta S$ および噴射完了時期 $\theta E$ が求められ、これらに基づいて燃料噴射が行われる。

【0079】一方、ステップ310においてフラグIIがリセットされていると判断されたとき、即ち運転領域が高負荷側運転領域IIIであるときにはステップ319に進んで要求負荷 $L$ が図14に示される第4の境界 $W(N)$ よりも低くなったか否かが判別される。 $L \geq W(N)$  のときにはステップ316に進む。これに対して $L < W(N)$  になるとステップ320に進んでフラグIIがセットされ、次いでステップ307に進む。従ってこのときにはピゴム噴射が行われる。

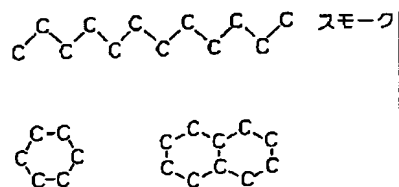
(N)よりも低くなったか否かが判別される。 $L \geq W$

(N) のときにはステップ316に進む。これに対して $L < W(N)$  になるとステップ320に進んでフラグIIがセットされ、次いでステップ307に進む。従ってこのときにはピゴム噴射が行われる。

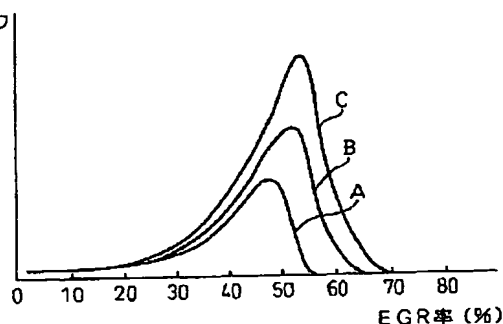
【0080】

【発明の効果】機関低負荷運転時に煤および $NO_x$ の発生量を極めて低くすることができる。

【図4】



【図5】



20

【図面の簡単な説明】

【図1】圧縮着火式内燃機関の全体図である。

【図2】スモークおよび $NO_x$ の発生量等を示す図である。

【図3】燃焼圧を示す図である。

【図4】燃料分子を示す図である。

【図5】スモークの発生量とEGR率との関係を示す図である。

【図6】噴射燃料量と混合ガス量との関係を示す図である。

【図7】第1の運転領域Iおよび第2の運転領域IIを示す図である。

【図8】空燃比センサの出力を示す図である。

【図9】スロットル弁の開度等を示す図である。

【図10】機関の運転を制御するためのフローチャートである。

【図11】機関の運転を制御するためのフローチャートである。

【図12】スロットル弁の開度等を示す図である。

【図13】スモークの発生量を示す図である。

【図14】第1の運転領域I、低負荷側運転領域IIおよび高負荷側運転領域IIIを示す図である。

【図15】スロットル弁の開度等を示す図である。

【図16】機関の運転を制御するためのフローチャートである。

【図17】機関の運転を制御するためのフローチャートである。

【符号の説明】

6…燃料噴射弁

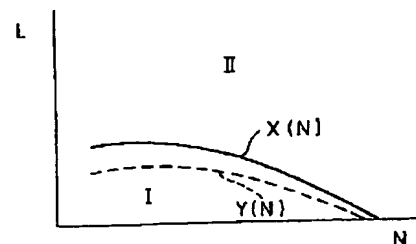
16…スロットル弁

19…酸化触媒

22…EGR通路

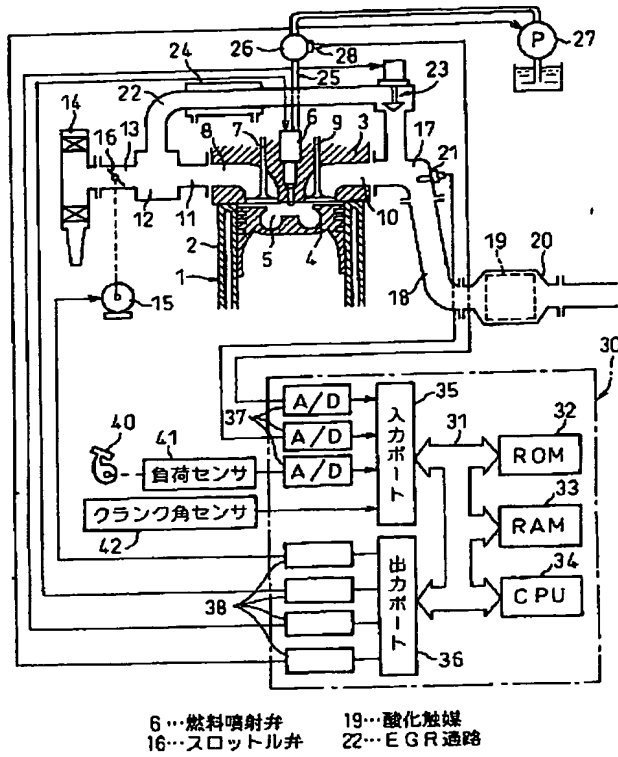
23…EGR制御弁

【図7】

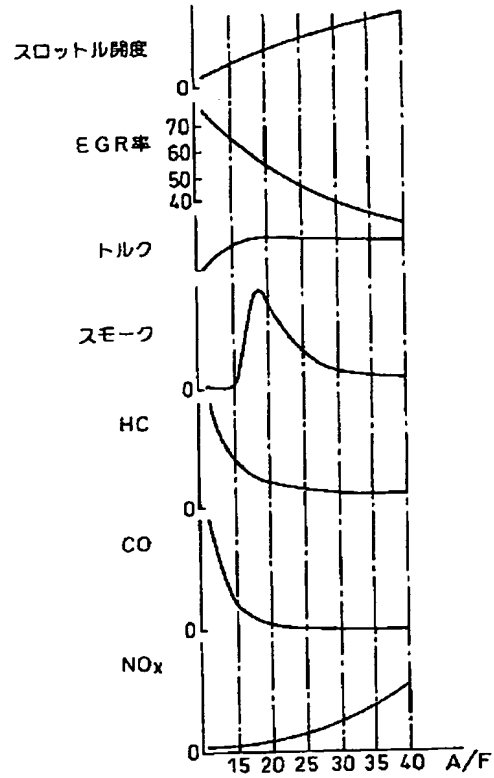


(12)

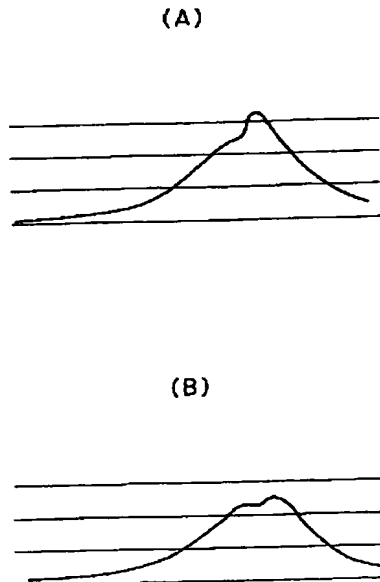
【図1】



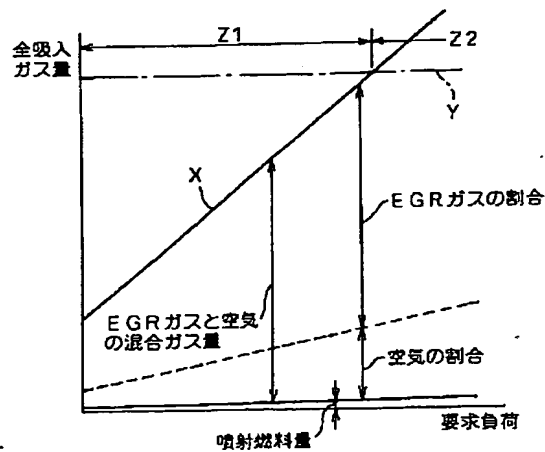
【図2】



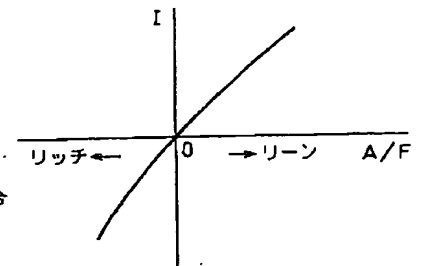
【図3】



【図6】

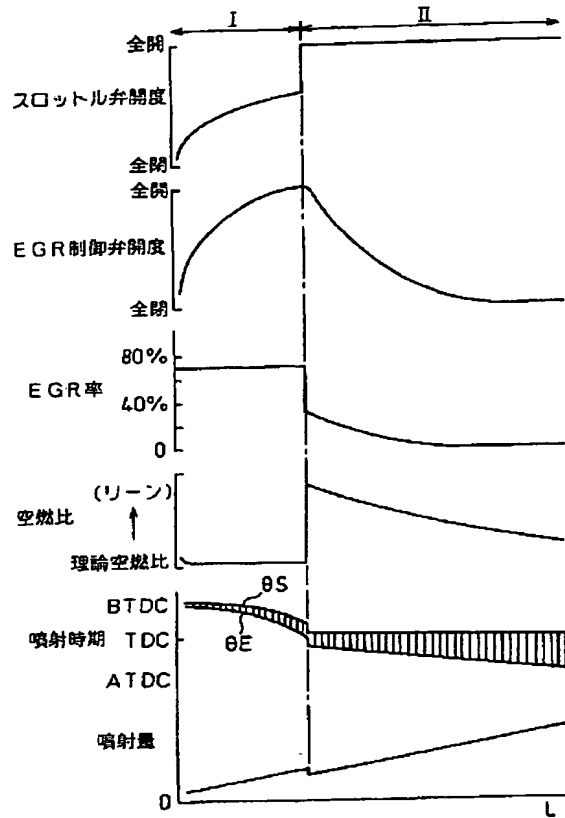


【図8】

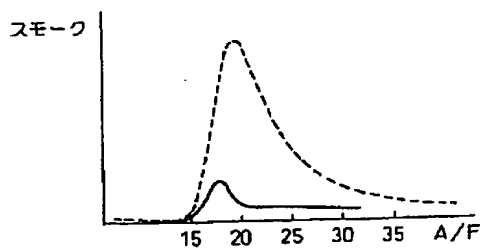


(13)

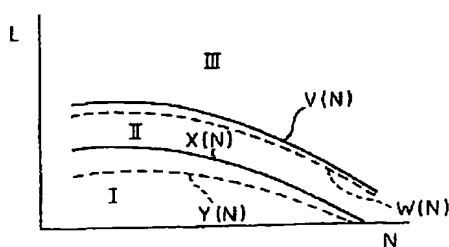
【図9】



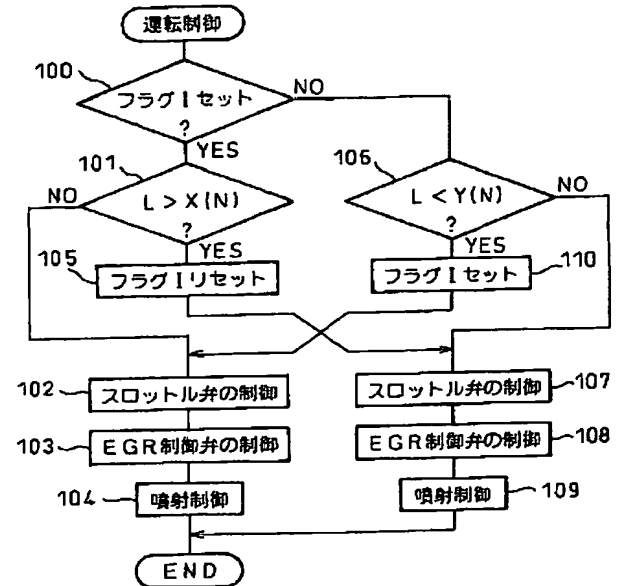
【図13】



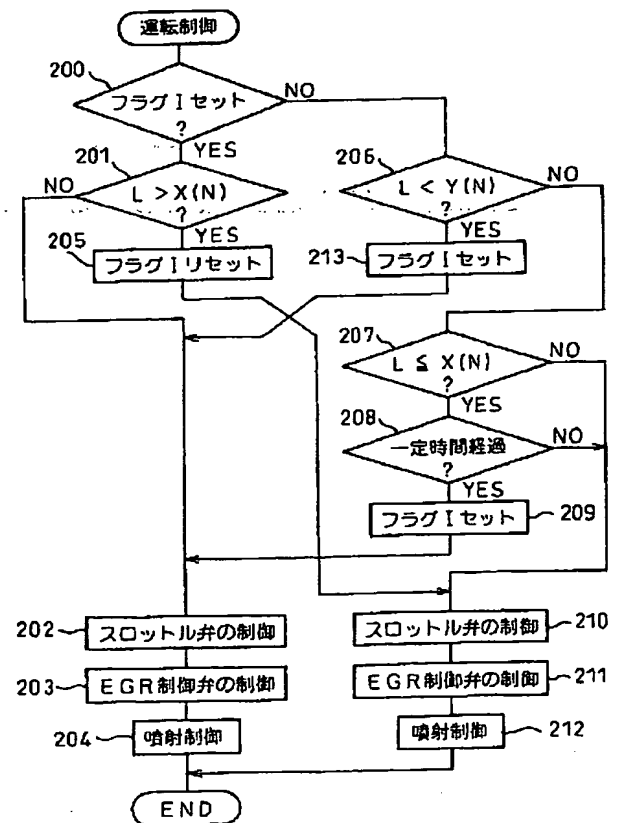
【図14】



【図10】

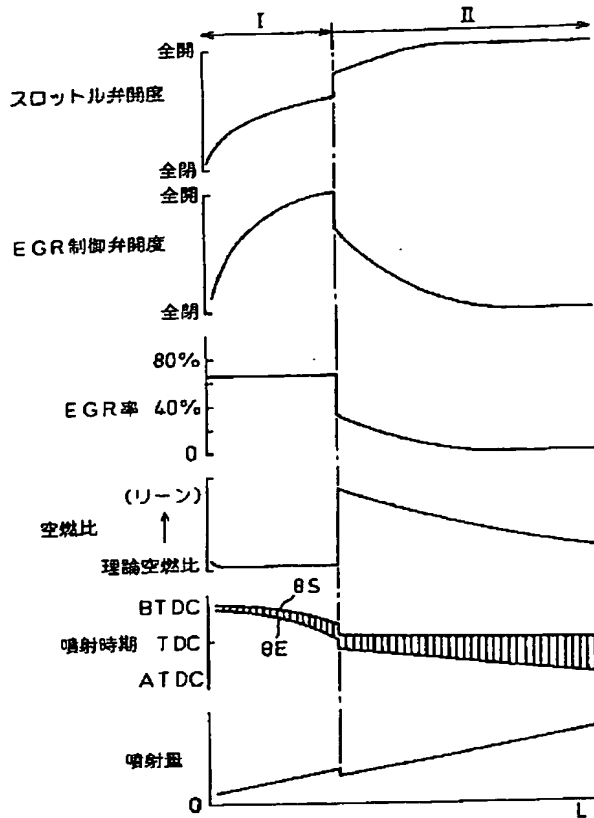


【図11】

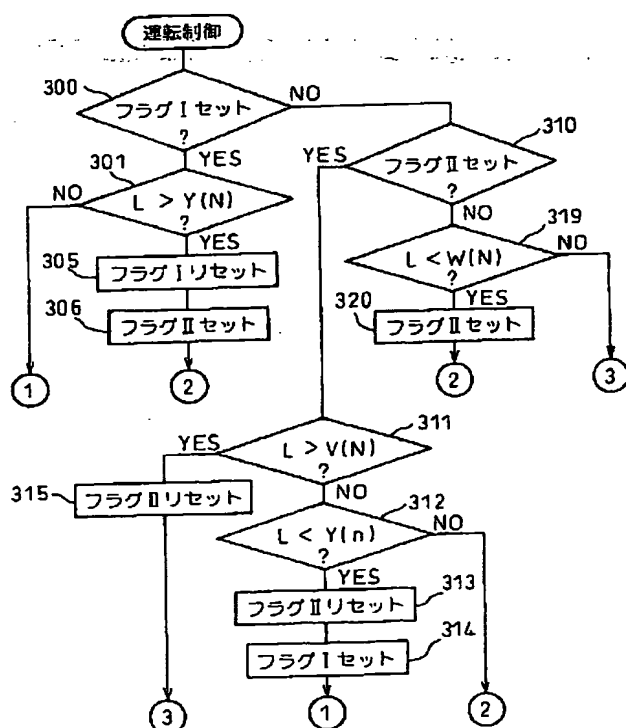


(14)

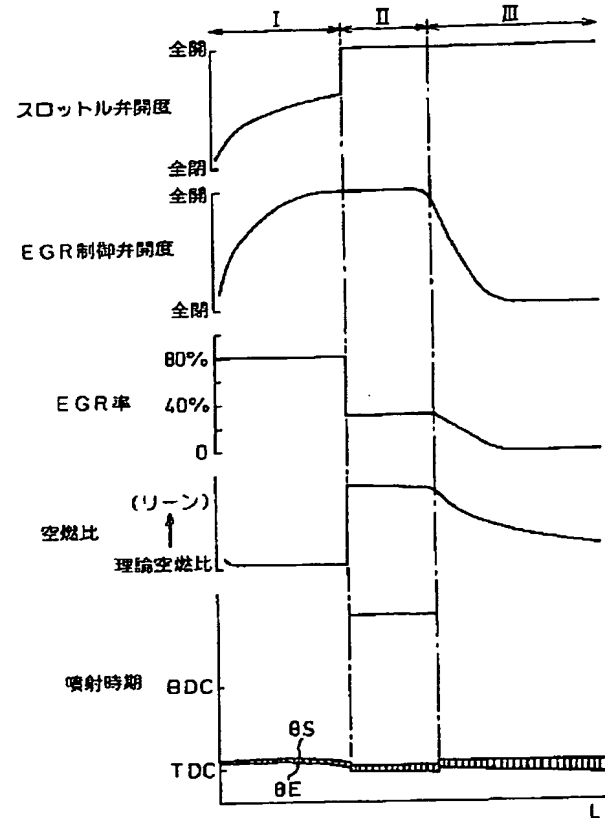
【図12】



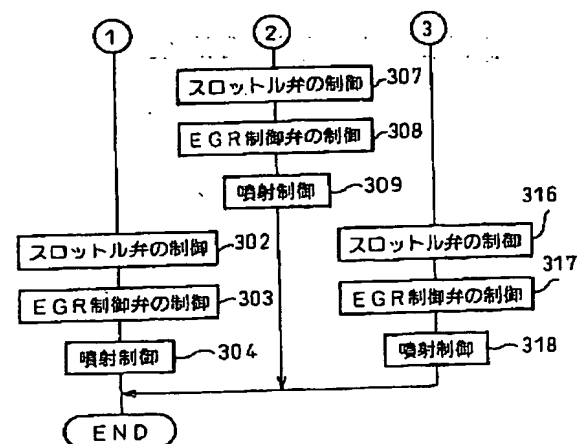
【図16】



【図15】



【図17】





(15)

フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

F I

F 0 2 D 41/04

3 8 5

F 0 2 D 41/04

3 8 5 E

41/40

41/40

C

(72) 発明者 安部 司

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動  
車株式会社内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第5部門第1区分

【発行日】平成11年(1999)11月26日

【公開番号】特開平11-107861

【公開日】平成11年(1999)4月20日

【年通号数】公開特許公報11-1079

【出願番号】特願平9-305817

【国際特許分類第6版】

F02M 25/07 570

F01N 3/08

3/20

F02D 21/08 301

41/04 355

385

41/40

・【F I】

F02M 25/07 570 D

F01N 3/08 A

3/20 R

F02D 21/08 301 D

41/04 355

385 E

41/40 C

【手続補正書】

【提出日】平成11年3月24日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】一方、図6の負荷領域Z2では煤の発生を阻止するのに必要な全吸入ガス量Xが吸入しうる全吸入ガス量Yを越えてしまう。従ってこの場合、煤の発生を阻止するのに必要な全吸入ガス量Xを燃焼室5内に供給するにはEGRガスおよび吸入空気の方、或いはEGRガスを過給又は加圧する必要がある。EGRガス等を過給又は加圧しない場合には負荷領域Z2では全吸入ガス量Xは吸入しうる全吸入ガス量Yに一致する。従ってこの場合、煤の発生を阻止するためには空気量を若干減少させてEGRガスを増大すると共に空燃比がリッチのもとで燃料を燃焼せしめることになる。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0055

【補正方法】変更

【補正内容】

【0055】第2の運転領域IIでは第2の燃焼、即ち従来から行われている燃焼が行われる。この燃焼方法では

煤およびNO<sub>x</sub>が若干発生するが低温燃焼に比べて熱効率は高く、従って機関の運転領域が第1の運転領域Iから第2の運転領域IIに変わると図9に示されるように噴射量がステップ状に低減せしめられる。第2の運転領域IIではスロットル弁16は全開状態に保持され、EGR制御弁23の開度は要求負荷Lが高くなるほど小さくされる。従ってEGR率は要求負荷Lが高くなるほど低くなり、空燃比は要求負荷Lが高くなるほど小さくなる。ただし、空燃比は要求負荷Lが高くなってもリーン空燃比とされる。また、第2の運転領域IIでは噴射開始時期θSは圧縮上死点TDC付近とされる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0072

【補正方法】変更

【補正内容】

【0072】低負荷側運転領域IIにおいてはピストン噴射が行われる。この低負荷側運転領域IIではスロットル弁16が全開状態に保持され、EGR制御弁23の開度はほぼ一定開度に保持される。従ってこの低負荷側運転領域IIではEGR率がほぼ一定に維持され、空燃比は要求負荷Lが高くなるほど小さくなる。また、吸気行程の初期に少量の燃料噴射が行われ、大部分の燃料噴射は圧縮上死点TDC付近で行われる。

(2)

1

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0073

【補正方法】変更

【補正内容】

【0073】運転領域がビゴム噴射が行われる低負荷側運転領域IIから従来より行われている通常の噴射が行われる高負荷側運転領域IIIに変化するときにはスロットル弁16の開度およびEGR制御弁23の開度は急激に変化せず、従ってEGR率および空燃比も急激に変化しない。この高負荷側運転領域IIIではスロットル弁16は全開状態に保持され、EGR制御弁23の開度は要求負荷Lが高くなるほど小さくされる。従ってEGR率は要求負荷Lが高くなるほど低くなり、空燃比は要求負荷Lが高くなるほど小さくなる。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

2

【補正対象項目名】0076

【補正方法】変更

【補正内容】

【0076】一方、ステップ301において $L > X$  (N)になったと判断されるとステップ305に進んでフラグIがリセットされ、次いでステップ306に進んで運転領域が低負荷側運転領域IIであることを示すフラグIIがセットされる。次いでステップ307に進んでスロットル弁16の開度が図15の低負荷側運転領域IIに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。即ち、スロットル弁16が全開せしめられる。次いでステップ308ではEGR制御弁23の開度が図15の低負荷側運転領域IIに示される要求負荷Lに応じた開度に制御される。次いでステップ309では図15の低負荷側運転領域IIに示される要求負荷L等に応じた噴射開始時期 $\theta_S$ および噴射完了時期 $\theta_E$ が求められ、これらに基づいてビゴム噴射が行われる。